

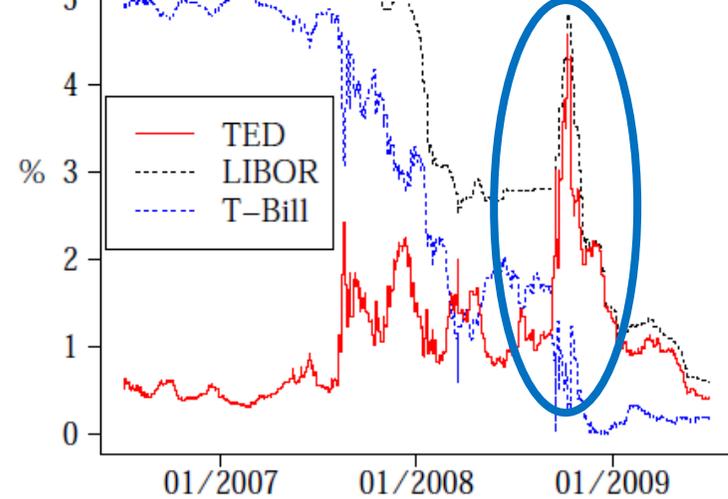
CRISES ECONOMIQUES: UN POINT DE VUE DE PHYSICIEN

Jean-Philippe Bouchaud
CFM & Académie des Sciences



Helmsman Economics Ltd., 2010

Krach 1929

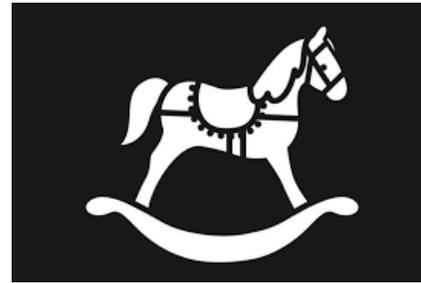


LIBOR: London Interbank Offered Rate

TED spread : jauge de « méfiance » interbancaire

De nombreuses crises sans explications

- (Mini-)krach financiers sans cause plausible (Cutler-Poterba-Summers)
 - 1929, 1987, 1962, 2010, et de nombreux mini-krachs oubliés
 - ➔ Les marchés financiers semblent être intrinsèquement instables et ne reflètent que partiellement la réalité économique sous-jacente
- (Mini-)crises économiques sans cause plausible
 - Ex.: 2008 + fortes fluctuations annuelles du PIB ($3\% \pm 3\%$ /an)
 - ➔ L'économie semble en prise à une agitation spontanée, endogène



Tout va pour le mieux dans le meilleur des mondes ?

- Or, supposant la rationalité des agents économiques, la théorie classique prédit que :
- Les marchés financiers sont « efficients » (toujours proches de la « valeur fondamentale »)
 - Les économies sont en permanence à l'équilibre autour d'un point de fonctionnement optimal, déplacé par des « chocs » exogènes transitoires (innovations, catastrophes naturelles, COVID)

Prices (in 2008) started to decline in advance of when people recognized that it was a recession... That's exactly what you would expect if markets were efficient. (!)

E. Fama, 2010 – Nobel 2013

Tout va pour le mieux dans le meilleur des mondes ?

Macroeconomics has succeeded: the central problem of depression prevention has been solved, for all practical purposes.

R Lucas, 2003 – Nobel 1995

The 2008 crisis was not predicted because economic theory predicts that such events cannot be predicted.

R Lucas, 2009

Our workers are no less productive than when this crisis began. Our minds are no less inventive, our goods and services no less needed than they were last week...

Barack Obama, Janvier 2009

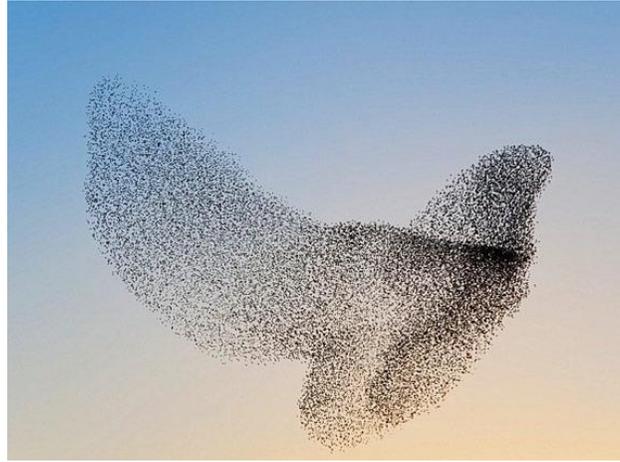
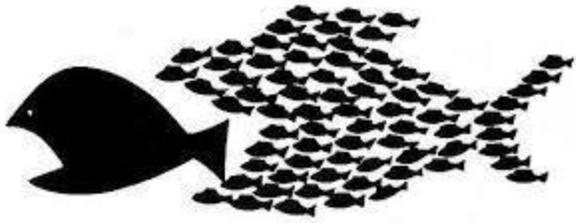
Tout va pour le mieux dans le meilleur des mondes ?

Models failed to predict the crisis and seemed incapable of explaining what was happening [...] In the face of the crisis, we felt abandoned by conventional tools.

JC Trichet, 2010

L'agent représentatif

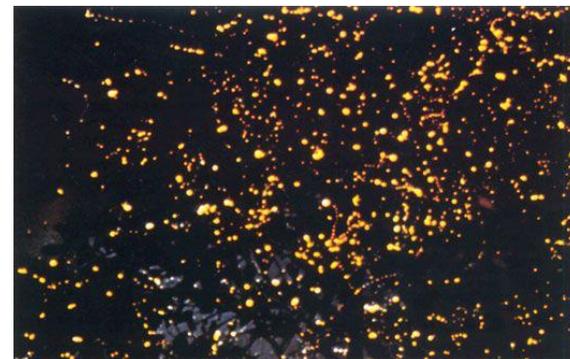
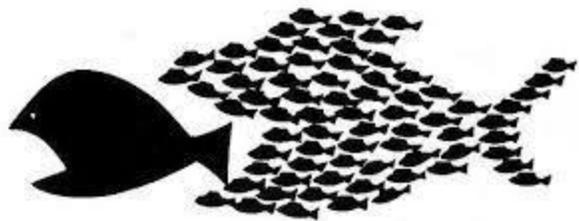
- Les modèles classiques décrivent l'économie en termes d'agent (ménage/firme) représentatif unique, rationnel, calculant l'optimum de son intérêt présent et futur
- Or les agents sont hétérogènes, très imparfaitement rationnels (!), dans un monde hyper-complexe et surtout en interaction forte
→ Effets collectifs inattendus et potentiellement conséquents



Le collectif n'est pas un ensemble d'individus

*The behavior of large assemblies of **interacting** individuals (particles) cannot be understood as a simple extrapolation of the properties of isolated individuals (particles). Instead, entirely new, unanticipated behaviors may appear and their understanding requires new ideas and methods.*

Phil Anderson, « More is different », Science 1972



Le collectif n'est pas un ensemble d'individus

*“For 300 years, Western travellers to Southeast Asia had been returning with tales of enormous congregations of fireflies blinking on and off in unison, in displays that stretched for miles along the riverbanks. How could thousands of fireflies orchestrate their flashing so precisely and on such vast scales? For decades, no one could come up with a plausible theory. A few believed there must be **a maestro**, a firefly that cues all the rest. Only by the late 60’s did the pieces of the puzzle begin to fall into place...”*

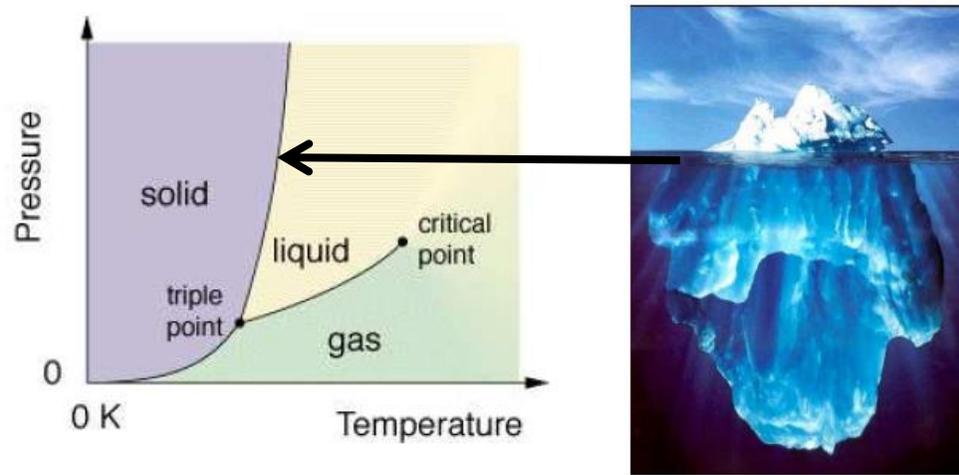
S. H. Strogatz, *SYNC: The Emerging Science of Spontaneous Order* (Hyperion, New York, 2003).



Le collectif n'est pas un ensemble d'individus

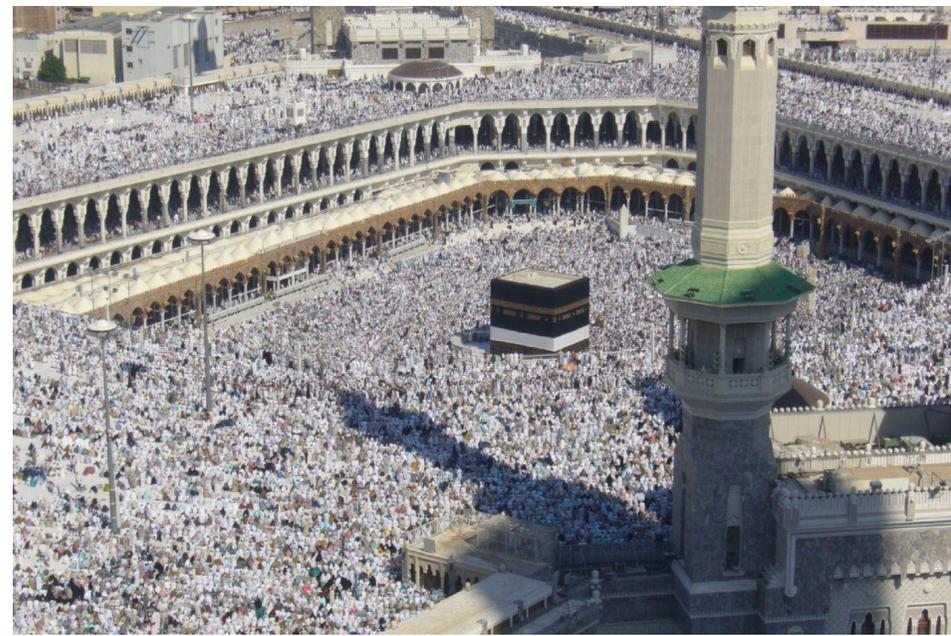
*The behavior of large assemblies of **interacting** individuals (particles) cannot be understood as a simple extrapolation of the properties of isolated individuals (particles). Instead, entirely new, unanticipated behaviors may appear and their understanding requires new ideas and methods.*

Phil Anderson, « More is different », Science 1972



Physique statistique et effets collectifs

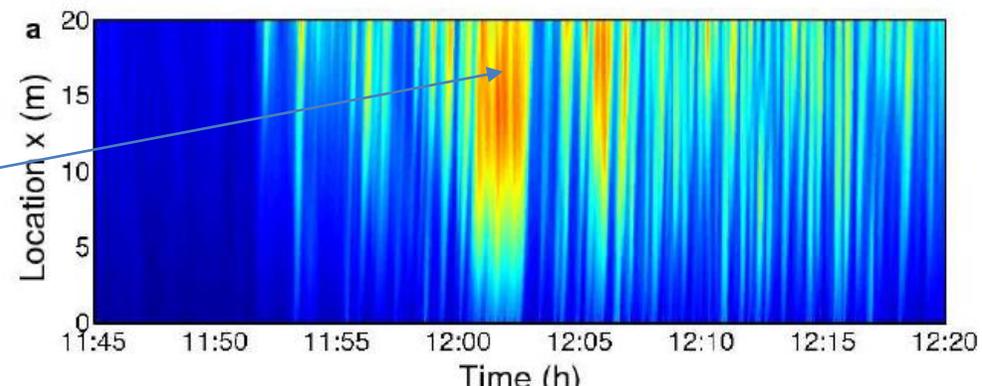
- Effets collectifs « surprenants » à partir de briques élémentaires « banales » en interaction
 - Magnétisme, Supraconductivité, Rigidité, etc.
 - Mémoire et conscience – qui n'appartiennent à aucun neurone
 - Nuées d'oiseaux, Lucioles, « Ola », etc.
- ➔ Paniques, retournements d'opinion, crises...
- Agents rationnels/irrationnels → Collectif irrationnel/rationnel

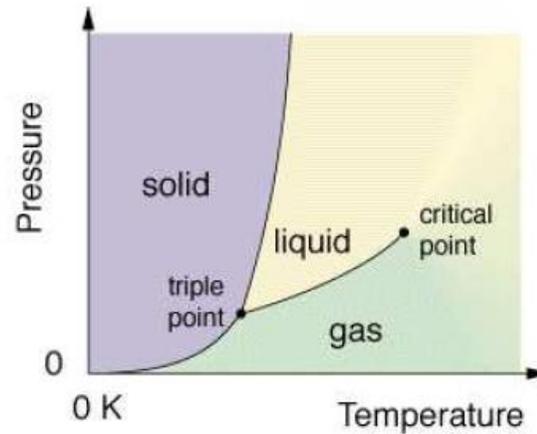
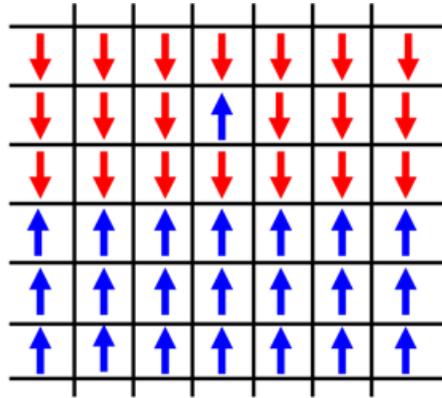


Le collectif, ou la disparition des individus dans la masse

Une foule dense peut devenir un milieu élastique rigide dans lequel se propagent des **ondes de pression**

Pression extrême





Magnétisme et bancs de poissons

- Je nage dans la direction de mon voisin qui lui-même s'oriente grâce à ses voisins - dont moi-même....
- Faibles interactions → comportement collectif désordonné
- Fortes interactions → orientation auto-cohérente
- Un point « critique » spécial sépare les deux « phases »

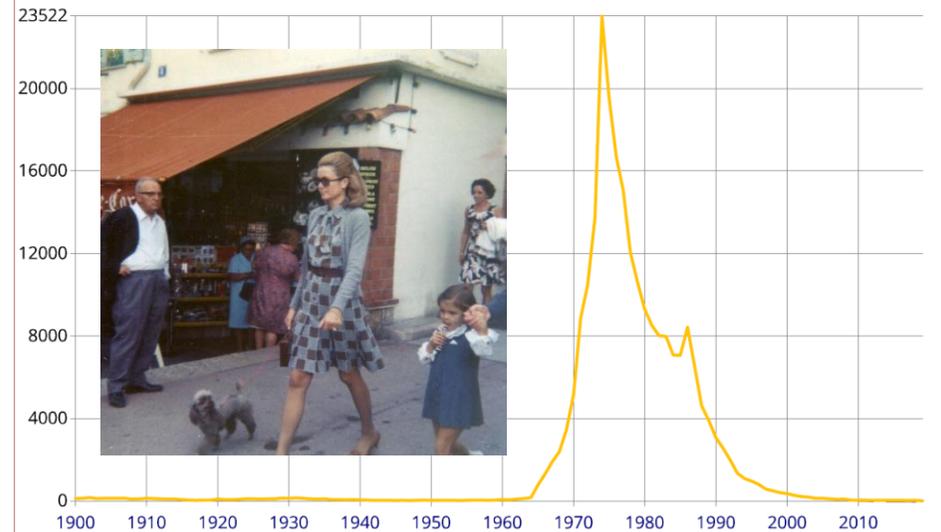
Nous sommes des animaux sociaux

Quand des hommes sont rapprochés, ils ne se décident plus au hasard et indépendamment les uns des autres; ils réagissent les uns sur les autres. Des causes multiples entrent en action, elles troublent les hommes, les entraînent à droite et à gauche, mais il y a une chose qu'elles ne peuvent détruire, ce sont leurs habitudes de moutons de Panurge.

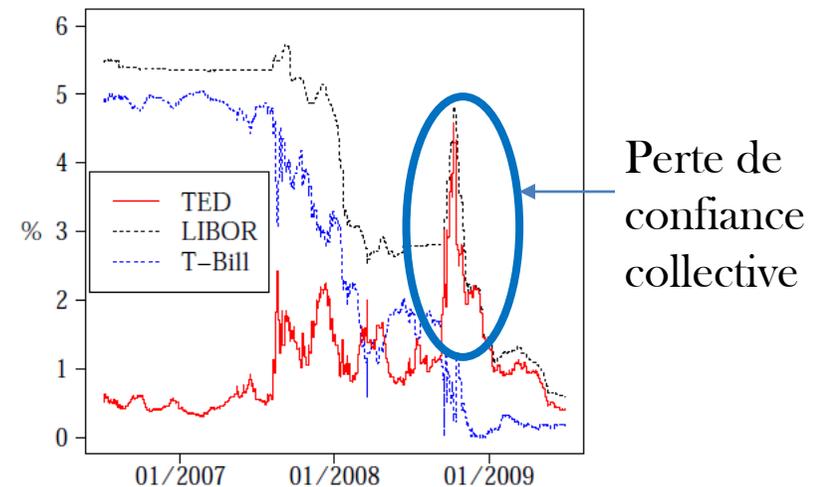
Henri Poincaré



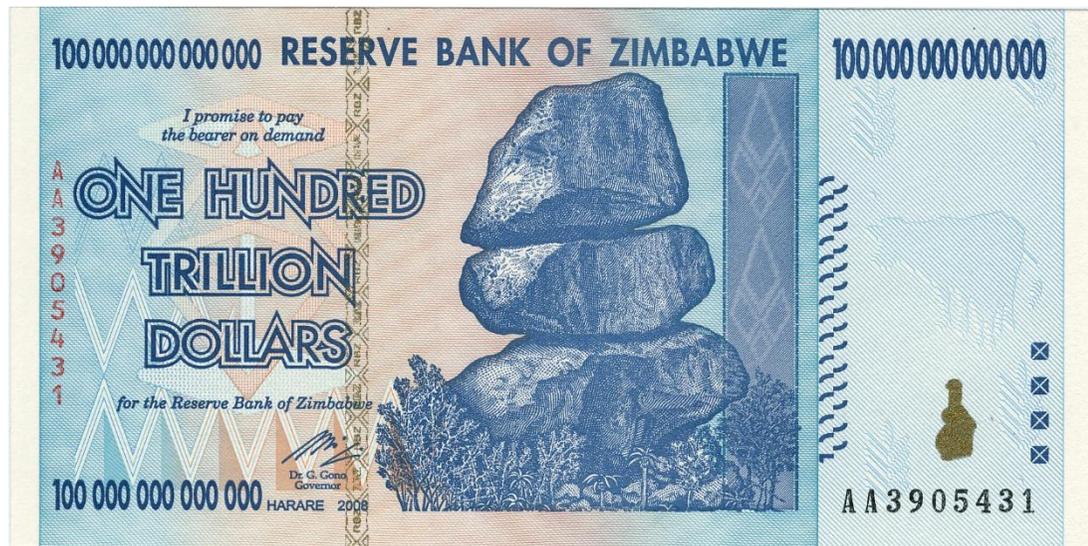
Nombres des STEPHANE STÉPHANIE



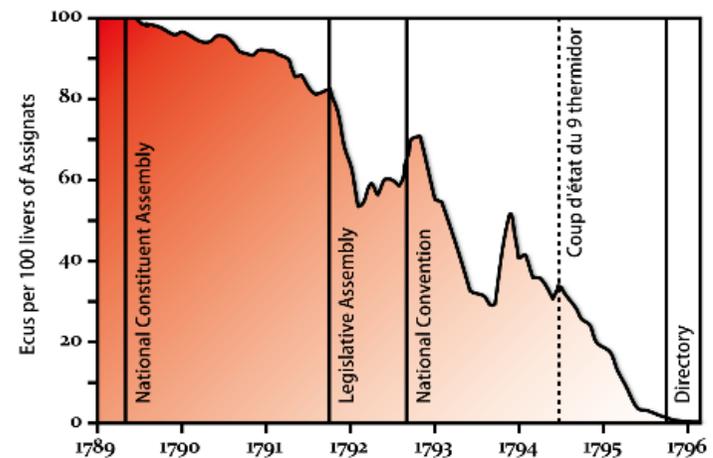
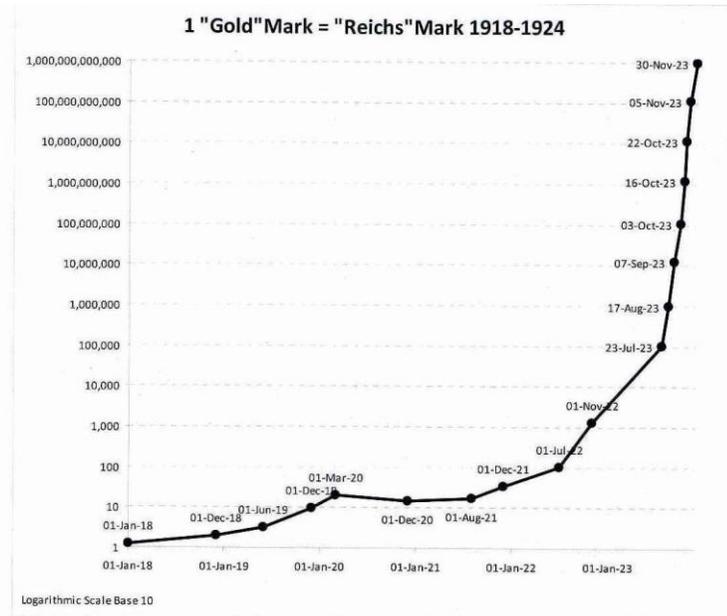
Nous sommes des animaux sociaux



Je n'ai pas confiance parce que tu n'as pas confiance parce que je n'ai pas confiance...



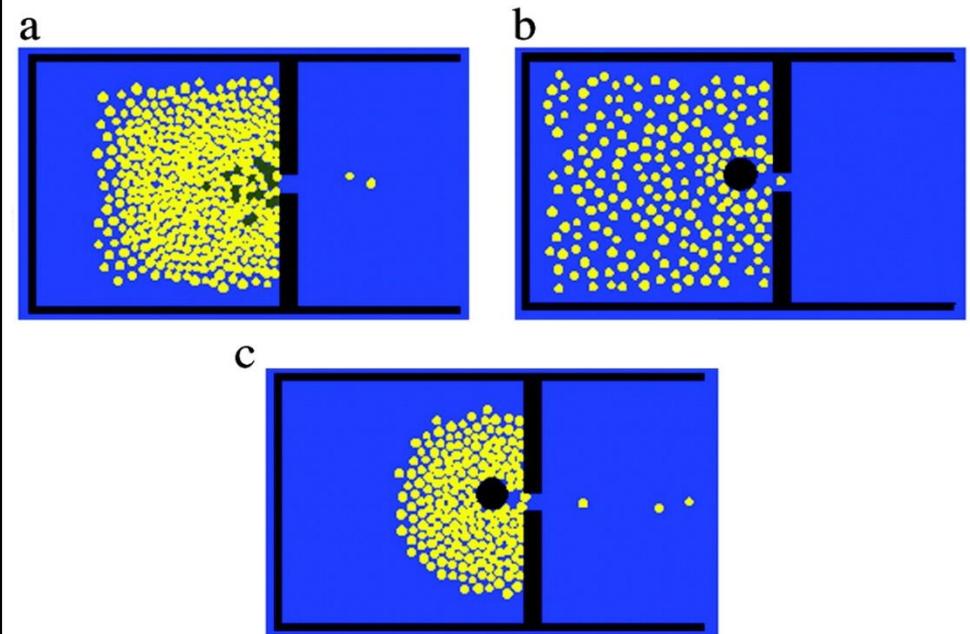
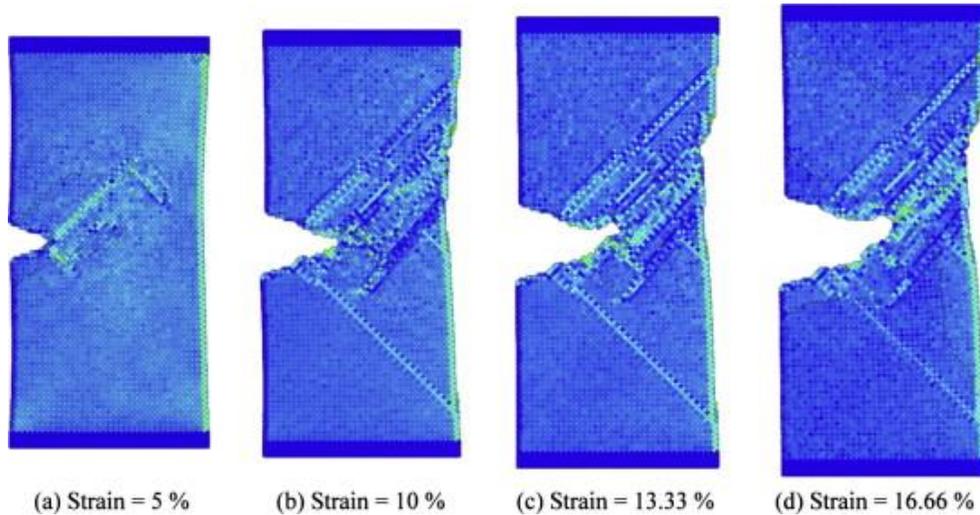
Perte de confiance et Hyperinflation





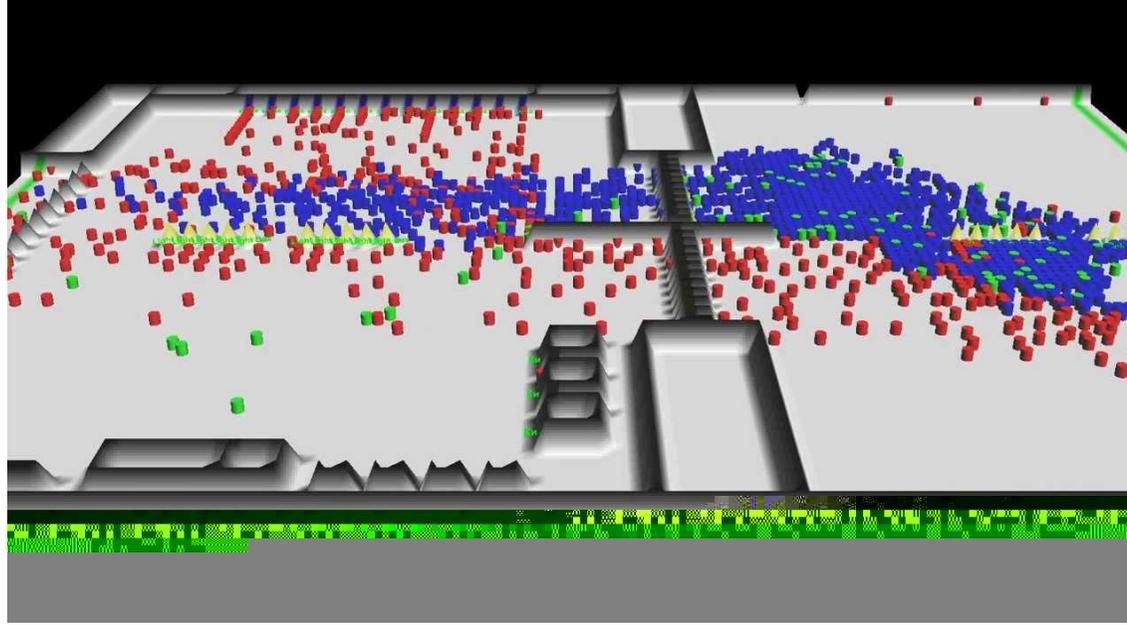
Simuler le monde

- La simulation numérique est l'équivalent, pour notre imagination, du télescope pour notre vision : elle permet d'entrevoir des « cygnes noirs »
(adapté de Mark Buchanan, NYT, Octobre 2008)



Simuler le monde

- La simulation numérique des molécules (physique – ex. verres –, ingénierie) ou des agents (épidémiologie, sciences sociales, économie...) permet de traiter hétérogénéités et interactions
- Chaque individu (molécule) suit des règles simples
- Mais le niveau « macroscopique » peut révéler une dynamique complexe et inattendue, due aux interactions

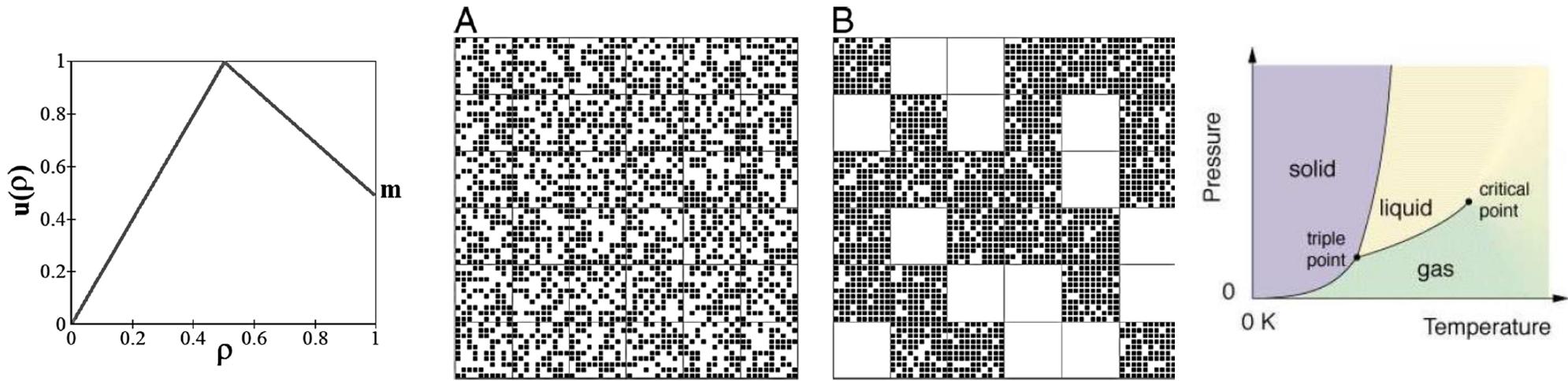


Piétons dans une station de métro

Simuler le monde



Trafic aérien et propagation des épidémies



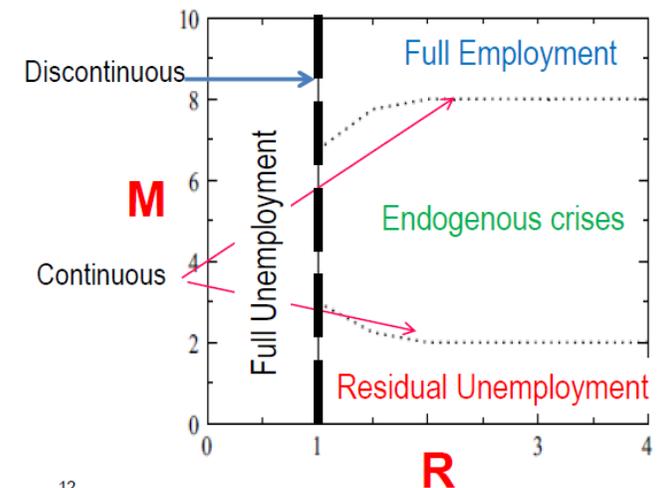
Grauwin, Bertin, Lemoy, Jensen

La faillite de la « main invisible »

- Le modèle de Schelling: un des premiers modèles d'agents
 - La décision de chaque agent ne dépend pas de l'impact subi par les autres
- ➔ Les agents se ségrèguent « à l'insu de leur plein gré »
- ➔ Analogue à la transition liquide-gaz en physique
- L'ajout d'une « taxe » pénalisant les mouvements qui défavorisent les autres agents permet de retrouver l'optimum

JPB, Gualdi, Tarzia, Zamponi

Un modèle d'Agents stylisé : « Mark 0 »

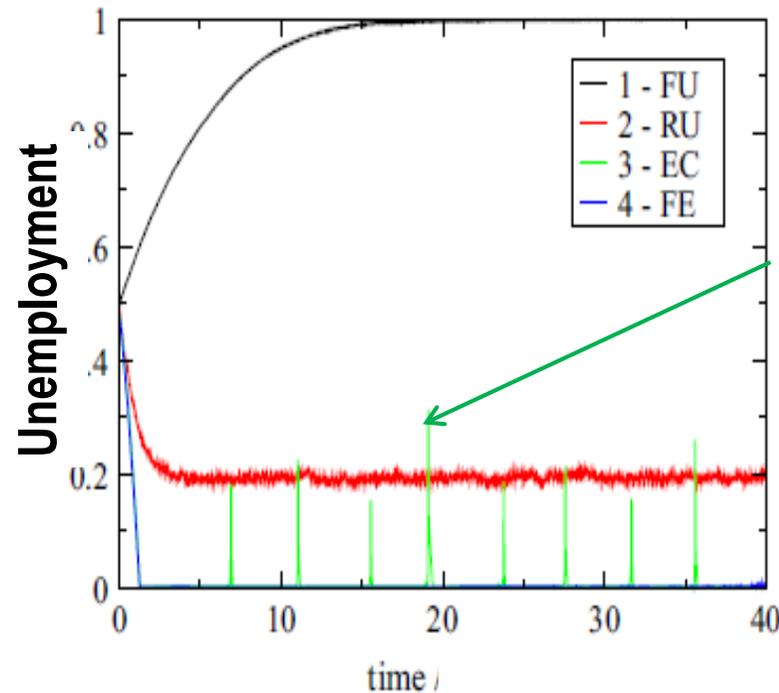
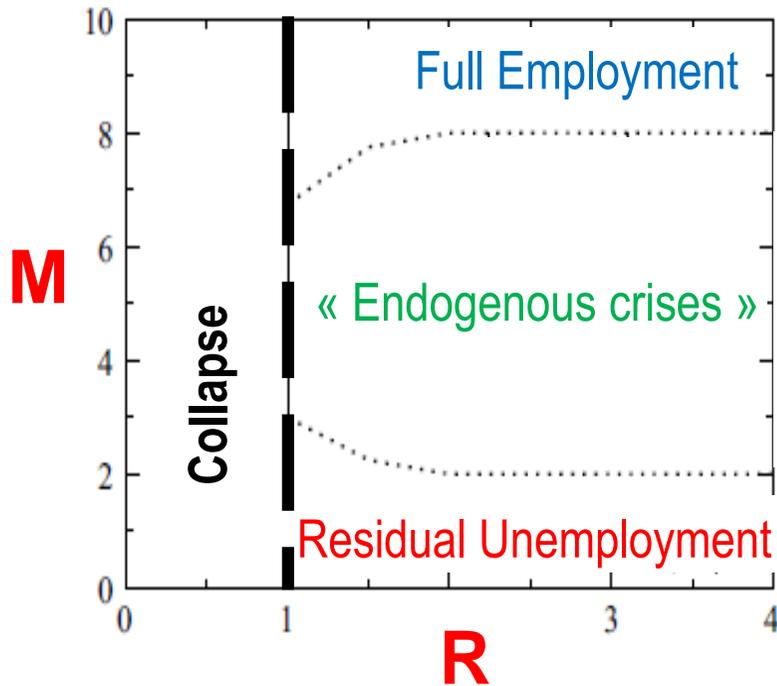


Un modèle d'Agents stylisé

- “Mark 0” - un prototype basé sur des règles comportementales simples et plausibles (mais qualifiées d'ad-hoc par les puristes)
 - Les entreprises ajustent leur main-d'oeuvre (= production), leur prix, et les salaires par rapport au chiffre d'affaire réalisé. Les taux d'embauche et de licenciement sont différents, et dans un rapport = **R**
 - Les ménages consomment une fraction **c** de leur épargne et choisissent préférentiellement les entreprises les moins chères.
 - Les entreprises font faillite lorsque leur endettement dépasse un multiple **M** de leur chiffre d'affaire, et sont remplacées par de nouvelles firmes avec une certaine intensité. [Le modèle suit une comptabilité stricte des flux].
 - La banque centrale fixe un taux d'intérêt de base

Un modèle d'Agents stylisé

⇒ Le “miracle” de l'émergence: un diagramme de phase très robuste (p/r aux règles comportementales, e.g. salaires fixes/variables, etc.)



22

→ **R**apport des ajustements: si les firmes licencient trop vite, l'économie s'effondre

→ Niveau d'endettement **M**aximum: si trop bas, chômage résiduel. Lorsque **M** augmente une phase de crises endogènes apparaît !?

Crises dans un modèle d'Agents stylisé

➤ La phase « Endogeneous Crisis » :

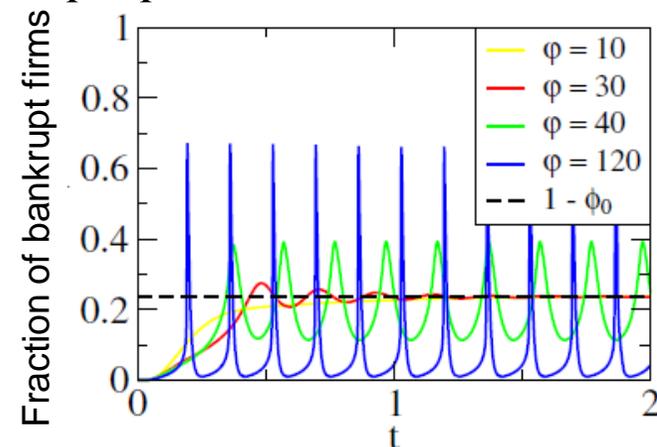
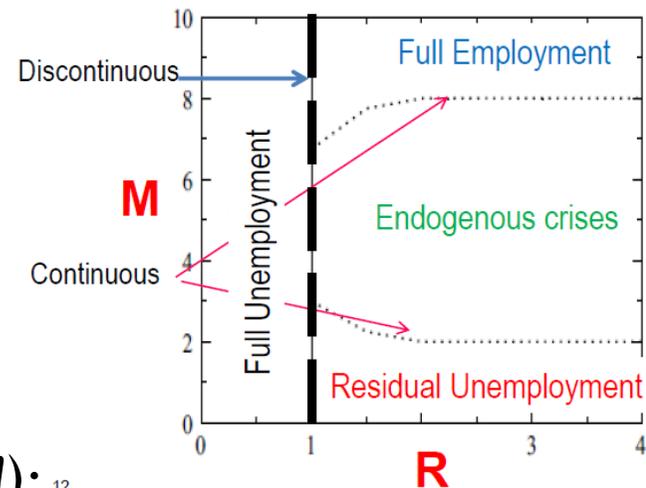
- Vagues collectives de faillites, médiées par une boucle de rétroaction (absente des modèles classiques!):¹²
 - ➔ *Augmentation du chômage et baisse de la consommation*
 - ➔ *Fragilisation des autres firmes ➔ De nouvelles faillites qui se synchronisent*
- Un phénomène générique dans des situations de non-équilibre: crises sans causes - cf. réseaux de firmes
- Un modèle stochastique du modèle stylisé... qui permet une solution analytique et révèle une vraie transition de phase vers un état synchronisé (x: fonds propres - x=0: faillite)

$$\dot{P}(x, t) = DP''(x, t) + V(t)P'(x, t) + J(t)\delta(x - \Theta)$$

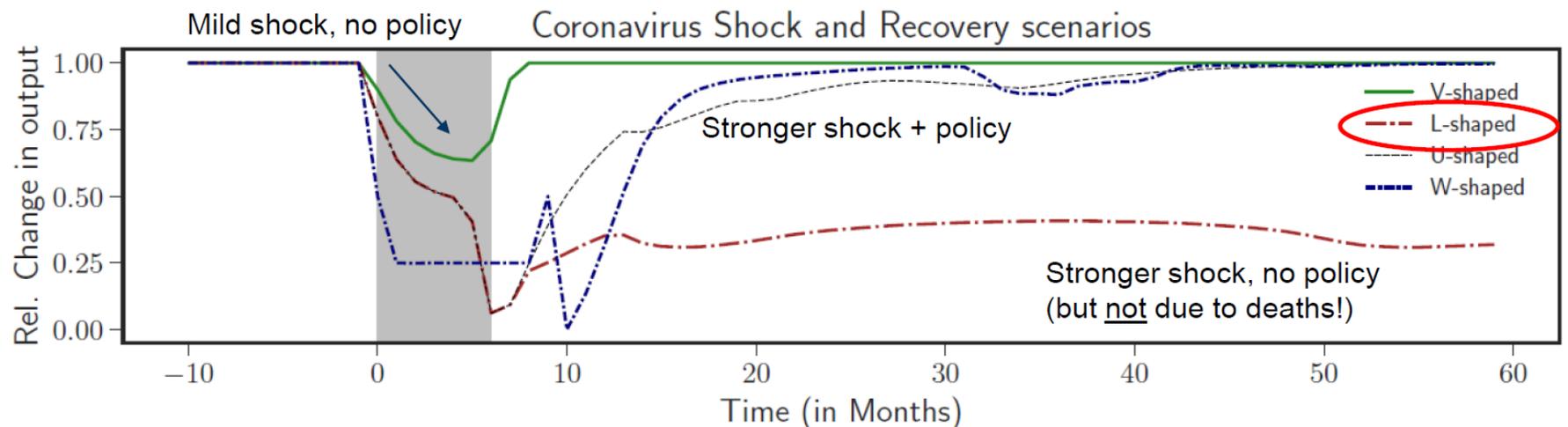
$$V(t) = b + \beta DP'(0, t)\Theta$$

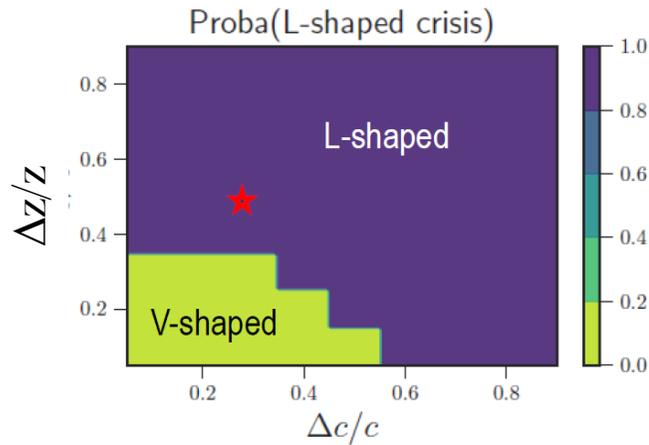
Boucle de rétroaction

- Cf: Neurones (Kuramoto), Lucioles

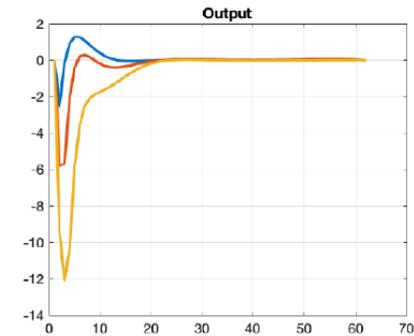
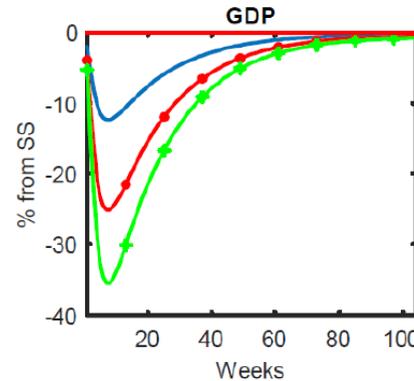


Une application récente : la crise COVID





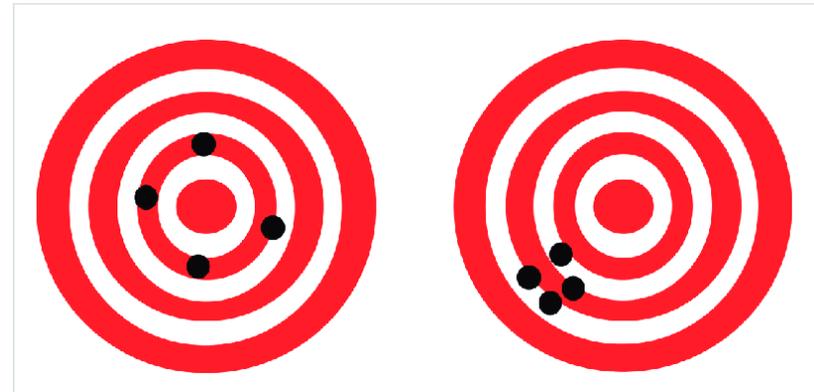
Modèle d'agents



Modèles classiques

L'importance des équilibres multiples

- Transition discontinue entre reprise en V et reprise en L
- Les modèles classiques, eux, conduisent à un retour vers l'équilibre unique – sans catastrophes (cf. embargo sur gaz russe)
- Discussion au sein du modèle de plusieurs politiques de soutien possibles, pour éviter à tout prix le « L » (mais suivies d'inflation!)
- ABM : Générateurs de scénarios possibles, parfois difficile à imaginer, et hors de portée des modèles classiques



Conclusion

- Simulation et modèles d'agents: le futur de la science économique?
- Générateurs de scénarios, expériences virtuelles et catalyseurs d'imagination :
 - Transitions de phases, points de basculement, dynamique hors eq.
 - Comportement collectif et crises endogènes, sans cause apparente
 - Phénomènes « émergents » bien connus des physiciens, mais que les modèles économiques intègrent encore trop rarement



Le collectif, ou la disparition des individus dans la masse

Brian: You don't NEED to follow ME, You don't NEED to follow ANYBODY! You've got to think for yourselves! You're ALL individuals!

The Crowd: Yes! We're all individuals!

Brian: You're all different!

The Crowd: Yes, we ARE all different!

Man in crowd: I'm not...

(Monty Python, Life of Brian)